

Didaktik der Physik

Frühjahrstagung – Würzburg 2018

Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik

- Entwicklung eines Modells zur professionsorientierten
Fachausbildung von Physiklehrkräften -

Tilman John, Erich Starauschek

Professional School of Education Stuttgart-Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
tilmann.john@ph-ludwigsburg.de, starauschek@ph-ludwigsburg.de

Kurzfassung

Die physikalische Fachkompetenz angehender Physiklehrkräfte passt häufig nicht zu den Anforderungen des Physikunterrichts der Schule (Merzyn, 2017). Dies stimmt mit dem Befund überein, dass schulrelevantes Fachwissen erst im Referendariat erworben wird (Borowski et al., 2011). Zudem weisen Physik-Lehramtsstudierende auch nach dem Studium Alltagsvorstellungen auf (Abell, 2007). Um diese Problemlage zu bearbeiten, wird an der PH Ludwigsburg ein Ansatz für Fachveranstaltungen entwickelt, der mit Hilfe kumulativen Lehrens und Lernens physikalischer Grundkonzepte den Aufbau eines schulbezogenen und damit professionsorientierten physikalischen Fachwissens ermöglichen soll. Auf Basis lernpsychologischer Positionen zum kumulativen Lernen wurde ein spezielles Modell ‚Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik‘ entwickelt, an dem die Fachveranstaltungen ausgerichtet werden. Im vorliegenden Artikel wird dieses Modell vorgestellt. Dazu werden zunächst die Lernmodelle von Gagné (1968), Ausubel (1968), Wittrock (1974) und Lee (2012) analysiert und zentrale Aspekte herausgearbeitet. In diesen Modellen lässt sich ein gemeinsamer Nenner für die Beschreibung von Lernprozessen finden, welcher das *kumulative* Lernen charakterisiert. Die fachlichen Anforderungen an eine Physiklehrkraft definieren weitere Aspekte für kumulatives Lernen: Insbesondere haben wir das Erlernen flexibel anwendbarer physikalischer Grundkonzepte in den Mittelpunkt des fachlichen Lernens für die Schule gestellt. Dies führt schließlich zu dem Modell einer kumulativen Hochschullehre für das Lehramtsstudium Physik.

1. Stand der Forschung

1.1. Professionswissen von Physiklehrkräften

„Welche Fähigkeiten benötigt eine Lehrkraft für guten Unterricht?“ Um diese Frage der empirischen Forschung zugänglich zu machen, ist es üblich, unterschiedliche Kompetenzen zu definieren. Zwei Bereiche werden grob unterschieden: (1) die kognitiven Fähigkeiten und das Professionswissen sowie (2) die volitionalen Fähigkeiten und Bereitschaften (Baumert & Kunter, 2006). Das Professionswissen weist aufbauend auf Shulman (1987) die drei Dimensionen Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisch-psychologisches Wissen auf. Shulmans Rahmen nennt mehr als diese drei Dimensionen; die drei genannten gelten als relevant. Wir wollen uns hier auf die Entwicklung der Fachwissensstruktur von zukünftigen Physiklehrkräften fokussieren.

Die Wichtigkeit der Rolle des Fachwissens ergibt sich auch aus einer Plausibilitätsbetrachtung: Sollen fachliche Inhalte eines Unterrichtsfachs gelehrt werden, sind bestimmte fachliche Kenntnisse notwendig. Partiiell offen ist die Frage, ‚welches‘ Fachwissen eine Lehrkraft genau benötigt, d.h. welche Lehrerwissensstruktur für einen *gelingenden* Unterricht notwendig

ist. Um sich dieser Frage zu nähern, wird das physikalische Fachwissen häufig mit drei Dimensionen modelliert: Dem Inhaltsbereich (z.B. Mechanik, Optik), der Wissenskomplexität (z.B. in den Ausprägungen Faktenwissen, tieferes Verständnis) sowie den drei Niveaustufen Schulwissen, vertieftes Schulwissen, universitäres Wissen (vgl. Riese, 2009). Beim Lehramtsstudium Physik sollten mögliche schulische Inhaltsbereiche abgedeckt sein und ein vertieftes Verständnis erreicht werden. Die Frage ist dann: Wie weit müssen die Vertiefungen gehen?

Die Bedeutung des Fachwissens für die Unterrichtsqualität und den Lernzuwachs der Schüler fällt in empirischen Untersuchungen unterschiedlich aus (Abell, 2007). Die Metastudie von Hattie (2009) zeigt nur geringe Effekte zwischen dem Fachwissen der Lehrkraft und dem Lernzuwachs der Schüler, wobei dieser Befund ist mit Vorsicht zu bewerten ist. Aus Plausibilitätsgründen kann vorsichtig gefolgert werden, dass nicht jedes physikalische Wissen für eine Lehrkraft wichtig ist: Relevant ist zumindest ein Fachwissen, das mit den Bedürfnissen des Schulunterrichts abgestimmt ist (vgl. Merzyn, 2017, S. 77). Diese vorhandene oder fehlende Abstimmung führt dazu, dass dem Fachwissen auch die Rolle eines Moderators für

die beiden anderen Dimensionen des Professionswissens zugeschrieben wird. So könnte z.B. eine Lehrkraft, die ein hohes Fachwissen besitzt, deshalb über ein flexibleres Erklärrepertoire verfügen. Zudem gilt Fachwissen als wesentliche Grundlage für den Erwerb fachdidaktischen Wissens (Krauss et al. 2008; Riese & Reinhold, 2012). Insgesamt ist die Rolle des physikalischen Lehrerwissens noch nicht ausreichend empirisch ‚verstanden‘; insbesondere ist nicht klar, über welche konkreten Wissensstrukturen Lehrerinnen und Lehrer in welcher Entwicklungsphase überhaupt verfügen müssen, um eine bestimmte Qualität in ihrem Physikunterricht zu erreichen. Wir greifen diese Frage im nächsten Abschnitt noch einmal auf.

Dem fachdidaktischen Wissen wird auf theoretischer Ebene eine besondere Rolle für die Unterrichtsqualität zugeschrieben, denn es gilt als derjenige Wissensaspekt, der für Fach-Lehrkräfte spezifisch ist. Das fachdidaktische Wissen wird dabei, wie oben beschrieben, vom Fachwissen modifiziert. Untersuchungen aus der Praxis finden jedoch sowohl positive (z.B. Kunter et al., 2013) als auch keine Zusammenhänge (z.B. Vogelsang 2014) zwischen einem hohen fachdidaktischen Wissen und der Unterrichtsqualität. Daher besteht weiterhin Forschungsbedarf in Bezug auf differenziertere Modellierungen und Messungen des fachdidaktischen Wissens (Riese et al., 2017). Die dritte Dimension, das pädagogisch-psychologische Wissen, gilt zudem als besonders relevant für nicht fachbezogene Handlungen, z.B. die Klassenführung (vgl. Kunter et al., 2014).

1.2. Anforderungen an ein professionsbezogenes Fachstudium im Lehramt Physik

Welche Aspekte sollte eine professionsorientierte Fachausbildung nach dem Stand der Forschung beinhalten? Im ersten Abschnitt wurde die Notwendigkeit einer Abstimmung des physikalischen Fachwissens mit den Anforderungen der Schule betont. Weil Lehramtsstudierende jedoch häufig mit Fachphysikern ausgebildet werden, findet diese Abstimmung bislang häufig nicht statt (vgl. Merzyn, 2017). Borowski et al. (2011) zeigen dies für eine kleine Stichprobe: Angehende Lehrkräfte erwerben ‚schulrelevantes Fachwissen‘ überwiegend erst im Referendariat. Aus diesen Gründen wird z.B. auch seitens der DPG eine eigene Ausbildung für angehende Physiklehrkräfte gefordert (Großmann et al., 2014).

Als eine erste Annäherung kann ein ‚abgestimmtes‘ oder ‚professionsorientiertes‘ Fachwissen als dasjenige Wissen betrachtet werden, welches sich für Handlungen von Lehrkräften im Unterricht als empirisch relevant erwiesen hat und somit eine Mindestvoraussetzung darstellt. Dieses schulrelevante Fachwissen wird von Riese et al. (2015) über das ‚vertiefte Schulwissen‘ definiert. Grob gesprochen geht das vertiefte Schulwissen inhaltlich über das Schulcurriculum hinaus, es besteht aber noch ein klarer Bezug dazu. So basiert z.B. das einfache Hebelgesetz auf einem vektoriellen Drehmomentgleichgewicht. Diese

physikalische Modellierung hat jedoch Grenzen, da große Massen in der Regel ausgedehnt sind. Riese et al. (2015) modellieren vertieftes Schulwissen präziser durch „folgende Fähigkeiten: (1) verschiedene Wege zur Lösung einer Aufgabe identifizieren und anwenden, (2) Lösung einer Aufgabe aus theoretischer Sicht planen, (3) Randbedingungen einer Schulaufgabe erkennen, (4) Aufgaben zielgruppengerecht vereinfachen, (5) Zusammenhänge, Gemeinsamkeiten und Unterschiede physikalischer Phänomene erkennen“ (ebd. S. 60). Darin ist die Moderatorfunktion des Fachwissens in der Beziehung zu unterrichtsspezifischen Aufgaben erkennbar. Daher kann das vertiefte Schulwissen in Abgrenzung zum Fachwissen von Fachphysikern als ein für Lehrkräfte professionsbezogenes Fachwissen charakterisiert werden.

Das vertiefte Schulwissen enthält implizit die Voraussetzung, dass Lehrkräfte ihre Alltagsvorstellungen, die in der Schulphysik relevant sind, überwinden haben sollten. Abell (2007) analysiert in einem Übersichtsartikel zum Fachwissen von Physiklehrkräften: „*The overall finding [...] in physics is that teachers' misunderstandings mirror what we know about students.*“ (vgl. ebd. S. 1117). Wir nehmen an, dass diese Aussage auch für deutsche angehende PhysiklehrerInnen gültig ist. Die Alltagsvorstellungen zu überwinden wird deshalb als ein eigener Teilaspekt eines professionsbezogenen Fachwissens aufgefasst. Dies erfordert eine explizite Auseinandersetzung mit eigenen Fehl- oder Alltagsvorstellungen im Studium. Neben dem ‚unabgestimmten‘ Fachwissen ist häufig eine weitere Konsequenz mit der gemeinsamen Ausbildung mit Fachphysikern verbunden: Lehramtsstudierende nehmen im Studium eine Distanz zum späteren Berufsfeld wahr, weil kein Bezug darauf genommen wird. Dies führt nach Heublein et al. (2010) zu einer geringen Studienmotivation und zu Studienabbrüchen. Damit sehen wir die Relevanzzuschreibung der Fachausbildung für die zukünftige Arbeit in der Schule durch die Lehramtsstudierenden als einen weiteren Aspekt eines professionsbezogenen Physikstudiums an.

Damit umfasst eine professionsbezogene Fachausbildung (mindestens) drei Anforderungen: (1) Die Fokussierung auf das ‚vertiefte Schulwissen‘, (2) die Auseinandersetzung mit Alltagskonzepten zur Physik und (3) das Erkennen von Relevanz der Fachausbildung für den Physiklehrerberuf.

2. Kumulatives Lernen

Wie kann ein professionsorientiertes Fachwissen aufgebaut werden, das den genannten Anforderungen genügt? Es erscheint überraschend, dass angehende Lehrkräfte nach erfolgreichem Bestehen der universitären Physikprüfungen kein schulrelevantes Fachwissen entwickelt haben sollen. Eine erste Erklärung lautet, dass der professionsorientierte Fachwissenserwerb eben nicht-kumulativ ist, also z.B. keine notwendige Verbindung zwischen universitärem und

schulischem physikalischen Wissen erfolgt: Das universitäre Fachwissen wird nicht mit dem schulischen Wissen verbunden und kann damit auch nicht im Sinne eines kumulativen Lernens verknüpft werden. Es scheint für die zukünftige Arbeit an einer Schule in der gelehrten Form zum Teil unbrauchbar zu sein.

Um ein Modell ‚kumulativen Lernens‘ für die Lehramtsausbildung in Physik zu erarbeiten, werden zunächst relevante Theorien aus der pädagogischen Psychologie analysiert, die den Aufbau von kumuliertem – oder komplexem – Wissen beschreiben. Sie haben einen gemeinsamen Nenner, der als ‚kumulativer Kern des Lernens‘ bezeichnet werden kann; er geht über das einfache Verbinden von Lehrinhalten hinaus. Um diesen Kern zu bestimmen, werden analysiert: a) Gagnés (1968) Modell des kumulativen Lernens, b) Ausubels (1968) Subsumtionstheorie, c) Wittrocks (1974) generatives Lehren und Lernen und d) Lees (2012) Modell des kumulativen Lernens. In einem zweiten Schritt (s. Abschnitt 3) wird auf Basis der psychologischen Modelle ein eigenes Modell kumulativen Lernens und explizitem kumulativen Lehrens für die Lehramtsausbildung Physik vorgestellt. Die Explizierung kumulativen Lehrens zur Unterscheidung von kumulativem Lernen stellt aus unserer Sicht einen hilfreichen begrifflichen Entwicklungsschritt dar.

a) Gagnés (1968) Modell des kumulativen Lernens: Eine zu erlernende komplexe Fähigkeit kann prinzipiell in aufeinander aufbauende weniger komplexe Fähigkeiten zerlegt werden. Diese Fähigkeiten lassen sich nach Gagné in der Regel hierarchisch anordnen: Um eine Fähigkeit B zu erwerben, ist es notwendig, zuvor eine andere Fähigkeit A erworben zu haben. Ein Beispiel aus der Physik: Die Kinematik und ihre Begriffe sollten vor dem dynamischen Zugang zum Kraftbegriff ‚verstanden‘ worden sein – also insbesondere die Beschleunigung als Geschwindigkeitsänderung – bevor es möglich ist, einen ‚tieferen‘ Zugang zum Kraftbegriff zu bekommen. Diese ‚Fähigkeitsteile‘ bezeichnet Gagné als Entitäten. Der schrittweise Erwerb der Entitäten wird schließlich als kumulative Lernsequenz bezeichnet (ebd. S. 58), die der Lernende dann auch durchläuft. Der kumulative Effekt des Lernens liegt darin, dass der Lernende durch diesen Prozess, den Gagné Lerntransfer nennt, sein Wissen generalisieren kann. Das heißt, es werden Beziehungen zwischen den Entitäten hergestellt, indem verallgemeinerbare Zusammenhänge gefunden werden. Gagné konstatiert, dass der Mechanismus des Lerntransfers wenig verstanden ist („[...] *a little understood, but nevertheless dependable, mechanism of learning transfer*“, ebd. S. 58). Wichtig ist, dass die Generalisierung von Wissen als Ergebnis des Lerntransfers durch den Lernenden selbst erfolgt und daher abhängig von seinen kognitiven Fähigkeiten ist. Die Gesamtheit aus hierarchischem Lernen und Lerntransfer charakterisiert Gagné als kumulatives Lernen, weil Wissens Elemente aufeinander aufbauen und in Beziehung gesetzt werden. Werden dagegen keine

Verbindungen zwischen erworbenen Wissens Elementen und neuen Lerninhalten beim Lernen hergestellt, so spricht man häufig in Abgrenzung zum kumulativen Lernen von einem additiven Wissenserwerb (vgl. z.B. Harms & Bänder, 1999).

Aus seinen Analysen zum kumulativen Lernen leitet Gagné eine Instruktionsmaßnahme ab. Sie besteht darin, den zu erwerbenden Inhalt in hierarchisch aufeinander aufbauende Fähigkeiten zu zerlegen. Der Lernende durchläuft diese Lernhierarchie. Dies sei effektiver als das wiederholte Üben der Zieltätigkeit selbst. Gagné betrachtet diese Lernhierarchie sehr kleinschrittig. Damit soll es dem Lernenden ermöglicht werden, als Ergebnis des Lerntransfers die Zwischenschritte in einen Zusammenhang zu bringen. Ein Beispiel in Andeutung: Um zu lernen, dass Licht eine Welle ist, ist es zunächst notwendig, erstens die Eigenschaften einer mechanischen Welle studiert zu haben und zweitens elektrische und magnetische Felder zu kennen. Diese Struktur kann weiter zerlegt werden. Erst dann ist es möglich zu verstehen, was damit gemeint ist, wenn man davon spricht, dass Licht eine Welle ist. Damit geht auch die Konstruktion einer ‚Bedeutung‘ des Konzepts ‚Licht als Welle‘ einher. Dieses ‚bedeutungserzeugende‘ Lernen wird in der folgend vorgestellten Subsumtionstheorie von Ausubel (1968) beschrieben. Während in Gagnés Modell die Bedeutungskonstruktion eine implizite Folge der durchlaufenen Lernhierarchie ist, beschreibt Ausubels Subsumtionstheorie die Erzeugung von Bedeutung selbst als *meaningful learning*.

b) Ausubels (1968) Subsumtionstheorie ist auf der Annahme begründet, dass Konzepte, die aus Lernerfahrungen konstruiert werden, durch kognitive Strukturen repräsentiert sind, welche hierarchisch geordnet sind: Je allgemeiner ein Konzept ist, desto weiter oben steht es in der Wissenshierarchie. Spezielle Konzepte sind hierarchisch tiefer angeordnet, weil sie weniger inklusiv sind (Ausubel, 1968, S. 92). Dies zeigt sich, wenn neues Wissen erworben wird: Neue Erfahrungen oder Informationen werden in einem Subsumtionsprozess bestehenden kognitiven Strukturen bzw. Konzepten untergeordnet. Das bestehende Konzept wird erweitert, indem die neu erworbene Erfahrung zu einem integralen Bestandteil des erweiterten Konzepts wird. Der Lernprozess findet somit immer durch Anknüpfen an das Vorwissen statt. Das Anknüpfen kann sich jedoch von unterschiedlicher Qualität sein: Es kann durch oberflächliche Assoziationen erfolgen oder bedeutungshaltig sein. Ausubel unterscheidet deshalb folgende Qualitäten von Lernen: *meaningful learning* und *rote learning*. Ausubel beschreibt das *meaningful learning*:

„*Substantive and nonarbitrary incorporation of a potentially meaningful learning task into relevant portions of cognitive structure so that new meaning emerges, implies that newly-learned meaning becomes an integral part of particular ideational system.*“ (ebd. S. 108).

Dagegen findet *rote learning* (Auswendiglernen) durch oberflächliche Assoziationen statt, die zufälligen Charakter haben. Dies führt zu isolierten Wissensseinheiten, die unabhängig von anderen intellektuellen Systemen existieren (vgl. ebd. S. 109). Ausubel (1968) betont daher die Bedeutung einer gut organisierten und stabilen Wissensbasis, da diese bessere Anknüpfungspunkte im Subsumtionsprozess bietet, als eine unklare und chaotisch organisierte Wissensbasis (vgl. ebd. S. 128). Somit hat die Qualität des Vorwissens einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität des weiteren Lernens - Lernen hat so über längere Zeiträume einen ebenfalls kumulativen Charakter.

Übertragen auf das Physiklehren müsste also sichergestellt werden, dass für das Erlernen neuer Inhalte das dafür notwendige (fachlich-korrekte oder phänomenologisch korrekt strukturierte) Vorwissen auch wirklich verfügbar ist, damit ein bedeutungserzeugendes Lernen überhaupt stattfinden kann. Am Beispiel des dynamischen Kraftbegriffs: Hat der Lernende den Beschleunigungsbegriff als Geschwindigkeitsänderung konzeptualisiert oder – in den Worten von Walter Jung – „den Begriff ausschließlich als Antwort gelernt“ (Jung et al., 1981, S. 193) – und misst ihm damit keine physikalische Bedeutung bei? In Anlehnung an die Rolle der Übungen im Sinne Ausubels (1968, S. 277 f.) kann es zur Konzeptualisierung des dynamischen Kraftbegriffs hilfreich sein, die Konzeptualisierung des Beschleunigungsbegriffs als Teil der Lernhierarchie wiederholend aufzugreifen, da nicht zwingend davon auszugehen ist, dass ein solches physikalisches Konzept nach einer Lerneinheit bereits ‚verstanden‘, also konzeptualisiert ist. Am Beispiel für die Einführung von Kräften bei Stoßprozessen: Wird ein Ball während der Reflexion an einer Wand beschleunigt? Woran kann man dies erkennen? Er ändert seine Geschwindigkeit. Anschließend kann der Kraftbegriff damit verbunden werden: Welche Rückschlüsse können damit auf die Kraft und ihre Richtung gezogen werden, die in diesem Moment auf den Ball ausgeübt wird?

In diesem Zusammenhang führt Ausubel (1968) das Konzept der *advanced organizers* ein. Sie haben die Funktion, den Lernenden dabei zu unterstützen, diejenigen kognitiven Strukturen zu aktivieren, mit denen die neue Information verknüpft werden soll. Dadurch soll dem Lernenden eine bedeutungsvolle Anknüpfung erleichtert werden.

c) Wittrock (1974) generatives Lehren und Lernen geht wie Ausubels (1968) Theorie von der Grundannahme aus, dass Lernende Bedeutungen erzeugen, indem neue ‚Informationen‘ mit bestehendem Wissen verknüpft werden. Dies erfolgt im Wesentlichen in zwei Schritten. Zunächst werden bestimmte Informationen selektiv wahrgenommen und andere ignoriert. Diese selektive Wahrnehmung wird bereits durch Inhalte des Langzeitgedächtnisses beeinflusst. In einem zweiten Schritt werden die neuen ‚Informationen‘ mit dem Langzeitgedächtnis verbun-

den und dabei Bedeutungen konstruiert, die dem Lerner plausibel erscheinen. Das in diesem Prozess gewonnene Verständnis wird im Langzeitgedächtnis assimiliert. Wittrock (1974) bezeichnet diesen Vorgang als generativ: „[...] *people tend to generate perceptions and meanings that are consistent with their prior learning*“ (ebd. S. 41). Dieses ‚Vorverständnis‘ beinhaltet beim Physiklernen jedoch auch physikalisch falsche Vorstellungen: Lernende bringen bereits Alltagsvorstellungen mit, die mit physikalischen Konzepten nicht übereinstimmen. Nach Wittrock Modell des generativen Lernens werden die neuen Inhalte also auch im einfachsten Fall mit den vorhandenen (falschen) Alltagsvorstellungen verknüpft bzw. an sie assimiliert. Somit entstehen durch Alltagsvorstellungen Probleme beim Physiklernen, denn auch falsche Vorstellungen können ‚kumulativ‘ erweitert werden. Als Erweiterung zu den vorherigen Modellen reicht es also nicht allein, Vorwissen zu aktivieren, sondern ‚falsches‘ Vorwissen, ergo Alltagskonzepte, müssen in irgendeiner Form als solche erkannt werden, dass sie beim physikalischen Beschreiben nicht angewandt werden. Dies ist ein bekanntes Problem des Physiklernens und der Physikdidaktik.

Wittrock (1989, 1991) entwickelt aus diesem Modell Implikationen für eine generative Lehre, welche generatives Lernen unterstützen soll. Seel (2003) fasst zusammen: (1) Gezieltes Eingehen auf das Vorwissen und die Alltagsvorstellungen der Lernenden, (2) Zentrierung der Aufmerksamkeit auf die bedeutsamen Elemente der Lerninhalte, (3) Anleitung, Beziehungen zwischen den zu lernenden Inhalten und bestehendem Wissen erzeugen (vgl. ebd. S. 157).

d) Lees (2012) Modell des kumulativen Lernens basiert auf zwei fundamentalen Mechanismen: der *kumulativen* und der *strukturierenden Natur* des Lernens. Die *kumulative Natur* des Lernens bedeutet hier, dass der Lernende aktiv seine Umgebung in Bezug auf seine vorhandenen kognitiven Strukturen verarbeitet und interpretiert. Diese Annahme entspricht derjenigen von Wittrock (1974), wonach die Wahrnehmung und Verarbeitung von Informationen durch Inhalte des Langzeitgedächtnisses beeinflusst wird. Aufgrund der *strukturierenden Natur* des Lernens entwickelt der Lernende dabei zunehmend sein Verständnis – seine vorhandenen kognitiven Strukturen – weiter durch Prozesse der Assimilation und Akkommodation (vgl. ebd. S. 34). Hier liegt eine Analogie zum Lerntransfer und der Generalisierung nach Gagné (1968) vor: Der Mensch ist dazu fähig, konkretes und spezifisches Wissen in abstrakten Mustern zusammenzufassen.

Diese beiden natürlichen Mechanismen des Lernens beschreiben Lees (2012) Modell des kumulativen Lernens. Analog zu Ausubels Subsumtionstheorie entwickelt der Lernende dabei sein Wissenssystem, indem aus relevanten Wissensseinheiten neue kognitive Strukturen gebildet werden; zum Beispiel Konzepte, Schemata oder mentale Modelle. Bei diesem

Schematisierungsprozess wird aus dem zunächst konkreten und spezifischen Wissen nach und nach ein abstraktes und verallgemeinertes Wissen konstruiert. Lee modelliert das Wissen deshalb in zwei Dimensionen. Die Pole der beiden Dimensionen werden als Abstraktheit/Konkretheit sowie Verallgemeinerbarkeit/Spezifität bezeichnet (*abstractness/concreteness* und *generality/specificity*). Dieses Wissen ist in den kognitiven Strukturen hierarchisch von konkret-spezifischem zu abstrakt-verallgemeinerbarem Wissen geordnet. Abstraktes Wissen enthält nur wenige Detailinformationen. Das Gegenteil ist konkretes Wissen. Zum Beispiel kann die konkrete Beobachtung „Das Fadenpendel führt eine gleichförmige Schwingung durch, bei welcher die Rückstellkraft proportional zur Auslenkung ist“ abstrahiert werden zu „Das Fadenpendel ist ein Harmonischer Oszillator“. Gleichzeitig müssen zu lernende abstrakte Formulierungen (z.B. die allgemeine und abstrakte Formulierung des Harmonischen Oszillators) konkretisiert werden, indem sie in Beispielen angewandt werden (z.B. Federpendel, Fadenpendel, Molekülschwingungen). Verallgemeinerbares Wissen hingegen erweitert die Wissensstruktur, da mehrere oder viele Wissensselemente sich in der übergeordneten Struktur wiederfinden. Das Gegenteil ist spezifisches Wissen, das stark kontextgebunden ist. Die Aussage: „Kräfte beschreiben Wechselwirkungen zwischen Körpern“ ist allgemeiner als die Aussage: „Die Gravitationskraft ist eine Wechselwirkung zwischen zwei Massen.“ In beiden Aussagen wird das abstrakte Kraftkonzept angewandt, die erste Aussage ist jedoch weiter. Nach Lee (2012) wird verallgemeinerbares Wissen im Lernprozess durch Inferenz – z.B. aufgrund analoger Strukturen – aus verschiedenen spezifischen Wissensselementen aufgebaut. Gleichzeitig müssen erlernte allgemeine Regeln auf neue Beispiele übertragen werden oder es muss in Beispielen die Regel erkannt werden.

Die natürlichen Mechanismen des Kumulierens und Strukturierens von Wissen im Lernprozess können analog zum *meaningful learning* von Ausubel von außen unterstützt werden. Der Fokus liegt hier auf einem angeleiteten Wechselspiel zwischen Abstraktion und Konkretisierung, sowie Verallgemeinerung und Spezifizierung. Lees Modell steht in Übereinstimmung mit lernpsychologischem Standardwissen (z.B. Stern & Schumacher, 2004): „man kann Menschen (im Original: sie) lediglich beim Erwerb und der Anwendung von Wissen unterstützen. [...] Intelligent wird Wissen durch seine Anwendung in unterschiedlichen Kontexten.“ (ebd. S. 125 f.). Die Autoren betonen, dass ein „unspezifischer Lerntransfer“ (ebd. S. 124) nicht möglich ist, sondern Wissen einer Domäne in spezifischen Situationen angewandt werden muss. Lee (2012) fasst diese Schlussfolgerungen für Instruktionsmaßnahmen zusammen: (1) Der Lernende sollte dabei unterstützt werden, erworbene Informationen und Wissen zu strukturieren und in einen Sinn-

zusammenhang zu bringen; (2) Bewertungen (*assessment*) sollten sich auf übergeordnete Fähigkeiten (Verständnis) beziehen und nicht nur auf die Reproduktion von Wissen; (3) Die kognitiven Lernstrategien von Mayer (1984) (Re-)Organisation, Wiederholung und Elaboration erweisen sich als eng zusammenhängend mit der Strukturierung von Wissen und sollten gefördert werden.

Den vier Modellen lässt sich als Gemeinsamkeit entnehmen, dass sich kognitive Strukturen anhand des Vorwissens ausbilden – Lernen ist kumulativ im Sinne von ‚mehr Wissen speichern‘ und im Sinne von ‚auf Wissensstrukturen aufbauen‘. Kumulatives Lernen eines intendierten Lernziels (hier: der Aufbau des professionsbezogenen Fachwissens) kann dabei unterstützt werden. Dies wird im Folgenden als ‚kumulative Lehre‘ bezeichnet und kann aus den Voraussetzungen für kumulatives Lernen abgeleitet werden. So ergibt sich aus der Sachlogik eine Lernhierarchie. Das bedeutet, dass die Vorwissensbasis durch Förderung einer bedeutungsvollen Anknüpfung kumulativ erweitert und strukturiert werden kann. Dabei ist eine Fokussierung auf die fachlich korrekten Elemente notwendig, um das Anknüpfen an problematische Alltagsvorstellungen zu vermeiden. Das Modell des ‚kumulativen Lehrens und Lernens‘ wird im folgenden Abschnitt vorgestellt (s. auch Tabelle 1).

3. Das Modell ‚kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik‘

Aus den kognitionspsychologischen bzw. pädagogisch-psychologischen Modellen des Lehrens und Lernens soll ein Modell für das ‚kumulative Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik‘ entwickelt werden: bisherige Aspekte und Ansätze des kumulativen Lernens werden mit den Zielen der fachlichen Ausbildung von Physiklehrkräften in Verbindung gebracht (s. 1.2). Damit unterscheiden wir insbesondere zwischen kumulativem Lehren und kumulativem Lernen; das kumulative Lehren soll dabei das kumulative Lernen von Physik unterstützen.

Das Ziel ist es, den Aufbau einer physikalischen Wissensbasis zu unterstützen, mit welcher angehende Physiklehrkräfte insbesondere ‚flexibel umgehen‘ können. Das heißt zum Beispiel, dass sie sich schulische Inhalte des Physikunterrichts selbstständig ‚schnell und unkompliziert‘ aneignen können – ‚Gewusstes‘ aktualisieren – oder für schulrelevante physikalische Probleme aus dem Stand und auch im Unterricht verschiedene Lösungswege zur Verfügung haben oder selbst ad hoc Lösungen finden können.

Studien und Berichte zeigen (s. 1.2), dass schulrelevantes Fachwissen von angehenden Physiklehrkräften nicht oder zum Teil nur additiv erworben wird, weil dieses im Referendariat trotz erfolgreichem Physikstudium nicht verfügbar ist. Ein Grund liegt darin, dass der Fokus in der Ausbildung nicht auf schulrelevanten physikalischen Konzepten liegt. Ein erster Schritt zur kumulativen Lehre legt daher nahe, in der

Hochschullehre eine Verbindung zu schulrelevanten Inhalten herzustellen.

Das für den Lehrerberuf anschlussfähige, flexible Fachwissen soll zweitens durch ‚kumulatives Lernen‘ in kognitionspsychologischer Perspektive aufgebaut werden. Drittens: ‚Kumulatives Lernen‘ wird dabei – grob gesprochen – unterstützt (s. 2), wenn eine ‚vertiefte Auseinandersetzung‘ insbesondere mit den Grundkonzepten der Physik aktiviert wird. Grundkonzepte sind dabei Konzepte, die für die Schule und die Physik hohe Relevanz haben, wie zum Beispiel das Kraftkonzept, Impulskonzept oder Energiekonzept, da diese auch im Physikunterricht immer wieder angewendet werden. Wir fokussieren im Folgenden auf die Grundkonzepte der Mechanik, um einen überschaubaren Rahmen zu erhalten. Die ‚vertiefte Auseinandersetzung‘ mit den – oder das kumulative Lernen von – Grundkonzepten wird nach der Analyse der kognitionspsychologischen Erkenntnisse (s. 2) in der Lehre durch die Umsetzung von Maßnahmen aus vier zentralen Dimensionen unterstützt, die im Folgenden detaillierter diskutiert werden: a) Wiederholtes Aufgreifen von physikalischen Grundkonzepten; b) deren kontextbasiertes Üben; c) die Berücksichtigung der Alltagskonzepte der Studierenden, die mit den Grundkonzepten verbunden sind; d) eine schulbezogene Fachphysikausbildung. Eine fünfte Dimension folgt nicht aus den kognitionspsychologischen Arbeiten (s. 1.2) und ist aus Sicht der Lehre mit d) identisch: Eine hohe Relevanzzuweisung der Fachvorlesung für den Lehrerberuf und einer wahrgenommenen und tatsächlichen fachlichen Kompetenzerfahrung („ich sehe, dass ich das erworbene physikalische Wissen in meinem zukünftigen Beruf einsetzen kann“) – sollte sich v. in einer positiven Entwicklung der Einschätzung der eigenen Fähigkeiten, Physik zu unterrichten, zeigen, also in den professionsbezogenen Kompetenzerfahrungen. Unser vorgeschlagenes Modell kumulativen Lehrens weist daher fünf Dimensionen auf, für die sich jeweils eine Lehr- und eine Lernaussprägung zeigen; daher Modell des kumulativen Lehrens und Lernens.

a) Wiederholtes Aufgreifen von physikalischen Grundkonzepten am Beispiel der Mechanik

Diese Modelldimension folgt dem generativen Lehren und Lernen von Wittrock (1991), nach dem Lernen unterstützt werden kann, wenn auf zentrale Inhalte fokussiert wird; in unserem Fall die physikalischen Grundkonzepte der Mechanik. Die Fokussierung auf zentrale Inhalte impliziert aus unserer Sicht auch das wiederholte Aufgreifen der Grundkonzepte in der Lehre; dies können zum einen einfach Wiederholungen sein, die an geeigneten Stellen der Lehre erfolgen, oder auch durch intelligentes Üben (s. c) Kontextbasiertes Üben). Das wiederholte Aufgreifen lässt sich in Ansätzen auch aus Lee (2012) folgern: Es müssen eine Reihe von konkreten Lerngelegenheiten, z.B. zum Kraftkonzept, zur Verfügung stehen.

Wir grenzen uns hier von Gagné (1968) ab, der das explizite Aufstellen von Lernhierarchien fordert. Eine Externalisierung der Lernhierarchien in einem Feinheitsgrad, den Gagné vorschlägt, bringt eine starke Fremdsteuerung des Lernens mit sich, die im Rahmen eines Hochschulstudiums nicht mehr angemessen ist. Übernommen wird aus Gagnés Lernmodell das Konzept des Lerntransfers: Lernende stellen durch wiederholtes Aufgreifen der physikalischen Grundkonzepte Beziehungen zwischen den Aspekten des Grundkonzeptes her und können so ein vernetztes Wissen aufbauen. Damit folgt auch nach Gagné implizit die Wiederholung der Grundkonzepte. Ein Beispiel, wie dies durch wiederholtes Aufgreifen in der kumulativen Lehre umgesetzt werden kann: Das Kraftkonzept wird in der Mechanik gelehrt und gelernt, außerdem ist es üblich das Kraftkonzept auch in der Elektrodynamik zu verwenden (elektrische Kräfte, Lorentzkraft). In unserer Auffassung von kumulativer Lehre nehmen wir nicht an, dass Lernende die zugrundeliegenden Konzepte in Form der Newtonschen Axiome bereits vollständig ‚verstanden‘ haben. Zum Beispiel berichtet Wiesner (1994) davon, dass auch Physikstudenten nicht klar ist, dass in $m \ddot{x} = F$ die resultierende Kraft gemeint ist. Typisch ist auch eine Verwechslung von Actio/Reactio-Kräften mit den Kräftepaaren an einem Körper im Kräftegleichgewicht. Anstatt in der Elektrodynamik also lediglich die Beziehung $m \ddot{x} = F$ zum Aufstellen von Bewegungsgleichungen von geladenen Teilchen in elektromagnetischen Feldern zu verwenden, sollte z.B. explizit der Bezug zu allen Newtonschen Axiomen hergestellt werden: Gilt das dritte Newtonsche Axiom (*actio/reactio*)? Oder für das Grundkonzept Impuls: Wird ein Elektron im elektrischen Feld eines Kondensators beschleunigt, so wächst sein Impuls. Gilt hier also noch die Impulserhaltung? Auch innerhalb der Mechanik sollen nach unserer Analyse die Grundkonzepte wiederholt aufgegriffen werden. Zum Beispiel können die Newtonschen Axiome mit dem Impuls formuliert werden und zeigen dann die Impulserhaltung.

b) Alltagsvorstellungen der Studierenden berücksichtigen

Das Vorwissen nimmt eine besondere Bedeutung für den Lernprozess ein. Neben dem physikalischen Wissen enthält das Vorwissen der Studierenden auch Alltagsvorstellungen, die häufig eben nicht mit den physikalischen Konzepten übereinstimmen – oder, ohne diese weiter zu vertiefen, Hybride aus physikalischen Ideen und Alltagsvorstellungen. Die Alltagsvorstellungen werden dabei in Anlehnung an das Modell von Wittrock (1989) als Teil des Vorverständnisses betrachtet. Auch angehende PhysiklehrerInnen haben Alltagsvorstellungen (s. 1.2). Daher soll gezielt auf das Vorwissen und die Alltagsvorstellungen zu den Grundkonzepten der Mechanik der Studierenden eingegangen werden. In der physikdidaktischen Terminologie also ein Konzeptwechsel. Mit dem angestrebten Konzeptwechsel haben die Studierenden die

Möglichkeit, in die Rolle ihrer zukünftigen Schülerinnen und Schüler zu schlüpfen und damit deren Schwierigkeiten nach- bzw. vorzuerleben. Hier zeigt sich – wenn diese Dimension umgesetzt wird – eine natürliche Verbindung zum fachdidaktischen Wissen.

c) Kontextbasiertes Üben

Die dritte Dimension – das ‚variantenreiche Üben‘, das ‚intelligente Üben‘ – unseres Modells ist zum einen mit Lee (2012) begründbar; zum anderen wie oben gesagt auch mit dem pädagogisch-psychologischen Standardwissen (z.B. Stern & Schumacher, 2004). In Bezug auf Lees (2012) Wissensmodell wird Wissen im Lernprozess Schritt für Schritt abstrahiert und verallgemeinert. Dabei sind – wir wiederholen – die Lernstrategien Wiederholung, Reorganisation und Elaboration z.B. mit Aufgaben zu induzieren. Das ‚assessment‘ bezieht sich auf das ‚Verständnis‘, nicht auf die Reproduktion von Fakten. Was bedeutet dies hingegen bei Lehr-Lern-Prozessen, die von abstrakten Inhalten ausgehen? Beispielsweise sind die Newtonschen Axiome abstrakt formuliert. Um die Axiome konkret-spezifisch zu verstehen, müssen diese an vielen Beispielen in verschiedenen Kontexten angewendet und damit auch geübt werden. Andernfalls bleibt das Wissen zu abstrakten Gesetzen träge; es ist also nicht flexibel anwendbar (Renkl, 1996). Was heißt dies konkret? Beispielsweise kann und muss in der Hochschullehre das zweite Newtonsche Axiom (stark abgekürzt in der Form: $F_{res} = m \cdot a$) aus verschiedenen Perspektiven studiert werden: Einmal kann von der Beobachtung der Beschleunigung eines Körpers auf die resultierende Kraft geschlossen werden, die auf den Körper folglich ausgeübt werden muss. Zum anderen kann aus allen Kräften, die auf einen Körper ausgeübt werden, die resultierende Kraft bestimmt und somit die Beschleunigung vorhergesagt werden. Beide Perspektiven finden sich im Gesetz von Newton. Der kumulative Aspekt des Lernens besteht also darin, dass Lernende mit der Zeit die Gemeinsamkeiten der Spezialfälle erkennen und zu einem Konzept verallgemeinern. Dies kann durch kumulatives Lehren unterstützt werden, indem entsprechende Übungsaufgaben angeboten werden, um die Grundkonzepte in speziellen und unterschiedlichsten Kontexten anzuwenden. Zudem enthält die Forderung nach einem professionsorientierten Fachwissen, dass die Beispiele und Übungsaufgaben schulnah sind, also abstraktes Hochschulwissen in typischen Schulkontexten angewandt wird. Diese Forderung wird durch die folgende vierte Dimension berücksichtigt.

d) Schulbezogene Fachausbildung

Für angehende Physiklehrkräfte ist es eine zusätzliche Herausforderung, das im Hochschulstudium erworbene physikalische Wissen in der Schule auf die Schulphysik zu beziehen (s. 1.2). Eine mögliche Erklärung: Der Aufbau des physikalischen Fachwissens in den Vorlesungen ist nicht zwingend an den Grund-

konzepten der Physik orientiert. Ein Beispiel: Die Fähigkeit, den Lagrangeformalismus zur Aufstellung von Bewegungsgleichungen anzuwenden, bedeutet nicht zwingend, die zugrundeliegenden Grundkonzepte von Kraft, Energie und Impuls flexibel anwenden zu können. Der Lagrangeformalismus erlaubt – und dies ist sogar das Ziel – ein sehr formales Vorgehen. Zur Lösung physikalischer Probleme mag dies angemessen sein, für die Entwicklung der Fähigkeit, Anfängern physikalisches Grundwissen zu vermitteln, mag dies hingegen eine eher untergeordnete Rolle spielen. Die hierarchische Wissensstruktur der Fachvorlesungen fokussiert stattdessen eher auf mathematische und algorithmische Aspekte (Koordinatensysteme, Lösen von Differentialgleichungen etc.). Damit lässt es sich zumindest auf Plausibilitätsebenen verstehen, wenn Merzyn (2017) die Probleme von Referendaren und jungen Lehrern im Unterricht auch auf „unpassende Fachkompetenz“ zurückführt (vgl. ebd. S. 77). Angehende Lehrkräfte sollten lernen, die erworbenen Inhalte des Physikstudiums auch an die fachlichen Anforderungen der Schulinhalte anzupassen. Dazu werden in einer lehrerprofessionalisierten kumulativen Lehre explizit Aufgaben mit Schulinhalten benutzt, anhand derer die Elementarisierung geübt werden kann. Damit stoßen wir wieder auf einige wesentliche Aspekte der Definition des ‚vertieften Schulwissens‘ nach Riese et al. (2015) (s. 1.2), die einen möglichen Rahmen für das professionsorientierte Fachwissen vorgeben. Ein Beispiel: Das Konzept des Drehmoments wird universitär als abstrakter Pseudovektor ($\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$) eingeführt; in der Schule als Spezialfall des Hebels. Das ‚vertiefte Schulwissen‘ zum Drehmoment sollte es der Lehrkraft erlauben, die Bedingungen zu erkennen, unter denen der Hebel in der Schule unterrichtet wird. Beispielsweise, um ggf. Fälle auszuschließen, in denen die Kraft nicht senkrecht auf \vec{r} steht. Oder beim zweiseitigen Hebel (z.B. einer Wippe) in der Schule: Weshalb gleichen sich die Drehmomente aus, obwohl die Kräfte auf beiden Seiten des Hebels nach unten zeigen?

e) Professionsbezogene Kompetenzerfahrung

Dieser Aspekt ist der Entwicklung eines Modells für eine Lehramtsausbildung im Speziellen geschuldet und kann nicht unmittelbar aus den Lernmodellen zum kumulativen Lernen abgeleitet werden. Hier wird insbesondere eine Verbindung zu den Persönlichkeitsvariablen hergestellt, die im Kompetenzmodell nach Baumert & Kunter (2006) dem Belief-System einer Lehrkraft zuzuordnen sind.

Wie gesagt, zeigt die universitäre Lehramtsausbildung die Problematik, dass Studierende häufig eine Distanz zum späteren Berufsfeld empfinden. Insbesondere sehen Studierende des Lehramts in den Studieninhalten keine Relevanz für ihren Werdegang als zukünftige Lehrkraft, was wiederum negative Einflüsse auf die Studienmotivation haben kann (Heublein et al., 2010). Eine professionsorientierte Fachausbildung trägt diesem Aspekt Rechnung.

Dimensionen	Theoretische Begründung aus den Lerntheorien zu kumulativem Lernen (a-d)	Ziele der Fachausbildung (Kumulatives Lernen)	Umsetzung in die kumulative Lehre
a) Wiederholtes Aufgreifen von physikalischen Grundkonzepten	– Lerntransfer: das Vorwissen kann nach und nach verallgemeinert und erweitert werden, wenn gezielt und wiederholt darauf aufgebaut wird.	– Aufbau einer tragfähigen Wissensbasis zu physikalischen Grundkonzepten.	– Gezieltes Wiederaufgreifen der Grundkonzepte und Fokussierung auf die zentralen Konzepte und deren Aspekte.
b) Kontextbasiertes Üben	– Konkretisieren von abstrakt repräsentiertem Wissen in unterschiedlichsten Kontexten. – Abstrahieren von konkret-spezifischem Wissen.	– Aufbau von flexibel anwendbarem – also nicht-trägem – Wissen.	– Lernumgebungen mit kontextbasierten Aufgaben und unterschiedlichen Kontexten anbieten.
c) Alltagsvorstellungen berücksichtigen	– Auseinandersetzung mit eigenen Alltagskonzepten notwendig, da sie Teil des Vorwissens sind.	– Überwindung eigener Alltagsvorstellungen.	– Angebote von Übungen, die eine Konfrontation mit typischen Alltagsvorstellungen beinhalten.
d) Schulbezogene Fachausbildung	– Beziehungen zwischen Hochschulwissen und Schulhalten herstellen als ein Element des kumulativen Lernprozesses für Physik Lehrkräfte.	– Aufbau eines Fachwissens, das die Anforderungen der Schule umfasst.	– Angebote von Übungen, die explizit das Anwenden des Hochschulwissens auf typische Schulhalte beinhalten.
e) Professionsbezogene Kompetenzerfahrung	– Professionsbezogene Kompetenzerfahrungen beeinflussen das Lernverhalten.	– Stärkung der Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartungen. – Überwindung der wahrgenommenen Distanz vom Studium zum Berufsfeld.	– Angebote zur Ausübung erworbener fachlicher Kompetenz in schulrelevanten Aufgaben.

Tabelle 1: Modell des kumulativen Lehrens und Lernens in der Lehramtsausbildung Physik

Dies geschieht über die Herstellung des Schulbezuges. Die (zukünftige) Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartung, d.h. die Selbsteinschätzung eigener Fähigkeiten, ein Engagement zu erreichen, um Lernen bei SchülerInnen zu ermöglichen, auch bei denjenigen SchülerInnen, die schwierig oder unmotiviert sind (vgl. Tschannen-Moran & Hoy, 2001, S. 783), sollte durch diese Maßnahme beeinflusst werden. Wir verfolgen hiermit ein nicht-kognitives Lehrziel. Der Ansatz der kumulativen Lehre kann also erweitert werden. Es sollte in den Professionsorientierten Vorlesungen nicht nur der Bezug zur Schule hergestellt werden, sondern explizit auf die Bedeutungen des Hochschulstoffs für die Schule hingewiesen werden. Die damit einhergehende mögliche Wahrnehmung der Schulrelevanz und insofern auch die Relevanz für den eigenen Lehrerberuf, kann nach Tschannen-Moran et al. (1998) eine Möglichkeit sein, die Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartungen zu beeinflussen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Unser Ziel ist es, ein Modell für eine professionsbezogene Fachausbildung zu entwickeln, d.h. (1) Aufbau eines ‚vertieften Schulwissens‘, (2) Alltagsvorstellungen zur Physik überwinden und (3) Relevanzzuweisung der Fachveranstaltungen durch die Studierenden für ihren späteren Lehrerberuf ermöglichen.

Unser Ansatz basiert auf den Ideen des kumulativen Lernens und den daraus abgeleiteten Maßnahmen – die kumulative Lehre – zur Unterstützung kumulativen Lernens (s. 2). Das Modell ‚kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik‘ wurde mit Hilfe kognitions- und lernpsychologischer Ansätze zum ‚kumulativen Lernen‘ formuliert. Dieses Modell

bietet einen Rahmen, anhand dessen Lehrveranstaltungen in der Hochschullehre der Lehramtsausbildung Physik theoriegeleitet entwickelt werden können. Rubitzko, Laukenmann & Starauschek (im Band) haben anhand des Modells ein Lehrkonzept für die Fachveranstaltungen Mechanik, Experimentalübungen zur Mechanik und Elektrodynamik entwickelt.

Um die Wirksamkeit der kumulativen Lehre zu untersuchen, wird das Lehrkonzept in einem weiteren Schritt begleitend evaluiert. Dazu wird untersucht, ob das entwickelte Lehrkonzept zur kumulativen Lehre von Grundkonzepten zur Mechanik die gesteckten Ziele erreicht. Es wird dabei ein *Design-Based Research* – Forschungsansatz verfolgt. Dieser Forschungsansatz hat nach Reinmann (2005) zwei Ziele: Das Generieren eines praktischen und eines theoretischen Outputs. Mit dem praktischen Output wird auf Basis der gewonnenen Daten das Lehrkonzept als Re-Design für die Praxis weiterentwickelt. Mit dem theoretischen Output wird die in der Praxis erprobte Theorie zum kumulativen Lehren und Lernen reflektiert. Dies beinhaltet die Frage, ob die mit dem Modell verbundenen Maßnahmen praktikabel sind und sich in einer konkreten Umsetzung in der Praxis eindeutig identifizieren lassen, oder ob das Modell beispielsweise in weitere Dimensionen ausdifferenziert werden muss.

5. Literatur

- Abell, S. K. (2007). *Research on science teacher knowledge*. Handbook of research on science education, 1105–1149.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*: Holt, Rinehart and Winston.

- Baumert, J. & Kunter, M. (2006). *Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften*. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9(4), 469–520.
- Borowski, A., Kirschner, S., Liedtke, S. & Fischer, H. E. (2011). *Vergleich des Fachwissens von Studierenden, Referendaren und Lehrenden in der Physik*. PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 1(10), 1–9.
- Gagné, R. M. (1968). *Contributions of learning to human development*. American Psychological Association. Reprint of: Psychological review, 75(3), 177–191.
- Großmann, S. & Hertel, I. (2014). *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik*: Bad Honnef: DPG.
- Harms, U. & Bünder, W. (1999). *Zuwachs von Kompetenz erfahrbar machen: Kumulatives Lernen*. Erläuterungen zum Modul, 5.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of 800 meta-analyses on achievement*. New York: Routledge.
- Heublein, U. Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D. & Besuch, G. (Eds.) 2010. *Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen*. : Vol. 2: HIS: Hochschul-Informationssystem GmbH. URL: http://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-201002.pdf
- Jung, W., Wiesner, H. & Engelhardt, P. (1981). *Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik*. Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth.
- Krauss, S., Neubrand, M., Blum, W., Baumert, J., Brunner, M., Kunter, M. & Jordan, A. (2008). *Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie*. Journal für Mathematik-Didaktik, 29(3-4), 233–258.
- Kunter, M., Klusmann, U., Baumert, J., Richter, D., Voss, T. & Hachfeld, A. (2013). *Professional competence of teachers: effects on instructional quality and student development*. Journal of Educational psychology, 105(3), 805.
- Kunter, M., Seiz, J. & Baumert, J. (2014). *Die Bedeutung des pädagogisch-psychologischen Wissens von angehenden Lehrkräften für die Unterrichtsqualität*. Zeitschrift für Pädagogik. (60.2), 184–201.
- Lee, J. (2012). *Cumulative Learning and Schematization in Problem Solving*. Dissertation. Universität, Freiburg.
- Mayer, R. E. (1984). *Aids to prose comprehension*. Educational Psychologist, 19, 30–42.
- Merzyn, G. (2017). *Auf den Lehrer kommt es an*. PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 1(16), 67–80.
- Reinmann, G. (2005). *Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung*. Unterrichtswissenschaft, 33(1), 52–69.
- Renkl, A. (1996). *Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird*. Psychologische Rundschau, 47, 78–92.
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Logos Verlag Berlin GmbH.
- Riese, J. & Reinhold, P. (2012). *Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen*. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 15(1), 111–143.
- Riese, J. Kulgemeyer, C., Zander, S., Borowski, A., Fischer, H. E., Gramzow, Y., Reinhold, P., Schecker, H., & Tomczyszyn, E. (2015). *Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik*. Kompetenzen von Studierenden, 61, 55–79.
- Riese, J., Gramzow, Y. & Reinhold, P. (2017). *Die Messung fachdidaktischen Wissens bei Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik*. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 23(1), 99–112.
- Rubitzko, Laukenmann & Starauschek (im Band)
- Seel, N. M. (2003). *Psychologie des Lernens: Lehrbuch für Pädagogen und Psychologen*. UTB.
- Shulman, L. (1987). *Knowledge and teaching: Foundations of the new reform*. Harvard educational review, 57(1), 1–23.
- Stern, E. & Schumacher, R. (2004). *Intelligentes Wissen*. Universitas, 121–134.
- Tschannen-Moran, M., Hoy, A. W., & Hoy, W. K. (1998). *Teacher efficacy: Its meaning and measure*. Review of educational research, 68, 202–248.
- Tschannen-Moran, M. & Hoy, A. W. (2001). *Teacher efficacy: Capturing an elusive construct*. Teaching and teacher education, 17(7), 783–805.
- Vogelsang, C. (2014). *Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Logos Verlag Berlin GmbH.
- Wiesner, H. (1994). *Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Folgerungen*. Physik in der Schule, 32(4), 122–127.
- Wittrock, M. C. (1974). *Learning as a generative process*. Educational psychologist, 11(2), 87–95.
- Wittrock, M. C. (1989). *Generative processes of comprehension*. Educational psychologist, 24(4), 345–376.
- Wittrock, M. C. (1991). *Generative teaching of comprehension*. The Elementary School Journal, 92(2), 169–184.

Danksagung

Das Verbundprojekt "Lehrerbildung PLUS" wird im Rahmen der gemeinsamen "Qualitätsinitiative Lehrerbildung" von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.